

**PATENT APPLICATION**

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of

Katsura OTAKI et al.

Application No.: 09/780,414

Filed: February 12, 2001

Docket No.: 108598



For: POINT DIFFRACTION INTERFEROMETER, MANUFACTURING METHOD FOR  
REFLECTING MIRROR, AND PROJECTION EXPOSURE APPARATUS

**CLAIM FOR PRIORITY**

Director of the U.S. Patent and Trademark Office  
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 2000-039092 filed February 14, 2000.

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application:

  X   is filed herewith.

           was filed on            in Parent Application No.            filed           .

           will be filed at a later date.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

James A. Oliff  
Registration No. 27,075

Thomas J. Pardini  
Registration No. 30,411

JAO:TJP/zmc  
Date: May 14, 2001

**OLIFF & BERRIDGE, PLC**  
**P.O. Box 19928**  
**Alexandria, Virginia 22320**  
**Telephone: (703) 836-6400**

DEPOSIT ACCOUNT USE  
AUTHORIZATION  
Please grant any extension  
necessary for entry;  
Charge any fee due to our  
Deposit Account No. 15-0461



日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

10453  
US  
06552 US  
2001

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2000年 2月17日

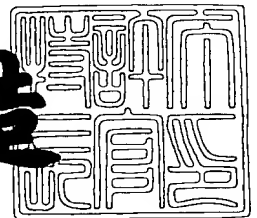
出願番号  
Application Number: 特願2000-039092

出願人  
Applicant (s): 株式会社ニコン

2001年 2月 9日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3005037

【書類名】 特許願

【整理番号】 99-01395

【提出日】 平成12年 2月17日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 9/02  
G01B 11/24

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

【氏名】 大滝 桂

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代表者】 吉田 庄一郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 005223

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】点回折干渉計、反射鏡の製造方法及び投影露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記ピンホール径（直径）の範囲が、 $\lambda / 2 \leq \phi \text{PH} \leq \lambda / \text{NA}$

$\lambda$  : 前記光源から照射された光の波長、 $\text{NA}$  : 前記集光光学系の開口数、 $\phi \text{PH}$  : 前記ピンホール径

であることを特徴とする点回折干渉計。

【請求項 2】

光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記集光光学系の開口数の範囲が、 $\text{NA} \leq \lambda / \phi \text{PH}$

$$0 < \text{NA} < 1$$

$\lambda$  : 前記光源から照射された光の波長、 $\text{NA}$  : 前記集光光学系の開口数、 $\phi \text{PH}$  : 前記ピンホール径

であることを特徴とする点回折干渉計。

【請求項 3】

光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知す

ることにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記ピンホールに照射される光が、楕円偏光であり、

$$0.5 < \varepsilon < 2$$

$\varepsilon$  : 楕円率 (長軸と短軸との比率)

であることを特徴とする点回折干渉計。

#### 【請求項4】

光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記ピンホールミラーが、透明基板と、該基板上に順次形成された第一反射膜と、前記ピンホールを備えた第二反射膜とを有することを特徴とする点回折干渉計。

#### 【請求項5】

前記ピンホール径が  $0.5 \mu\text{m}$  以上である場合に、

$$0.5 \leq \gamma < 1$$

$$\phi = \Delta + 360^\circ \times N \quad (-45^\circ \leq \Delta \leq 45^\circ, N: \text{整数})$$

$\gamma$  : 前記ピンホールの内部反射率 (第一反射膜での反射) / 前記ピンホールの外部反射率 (第二反射膜での反射)

$\phi$  : 前記ピンホールの内部反射と外部反射との位相差

であることを特徴とする請求項4記載の点回折干渉計。

#### 【請求項6】

光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記ピンホールミラーの前記被測定面側に誘電体多層反射膜が形成されてい

ることを特徴とする点回折干渉計。

【請求項 7】

光源から照射された偏光光を偏波保存ファイバーに照射し、該ファイバーから射出された偏光光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ファイバーから射出された偏光光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記光源と偏波保存ファイバーとの間に回転機構を備えた  $\lambda/2$  板を配置したことを特徴とする点回折干渉計。

【請求項 8】

光源から照射された光をシングルモードファイバーに照射し、該ファイバーから射出された光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ファイバーから射出された偏光光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記シングルモードファイバーの前記被測定面側の端面に誘電体多層反射膜が形成されていることを特徴とする点回折干渉計。

【請求項 9】

基板上に重元素層と軽元素層とを交互に積層した多層膜が形成された反射鏡の製造方法であって、

少なくとも、請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載された点回折干渉計を用いて面精度を測定する工程を備えていることを特徴とする反射鏡の製造方法。

【請求項 10】

軟 X 線によりマスクを照明する照明光学系と、

前記マスクに形成されたパターンを感光基板上に投影露光するための投影光学系とを具備する投影露光装置において、

前記照明光学系又は投影光学系は、請求項 9 記載の反射鏡の製造方法により製造された反射鏡を備えていることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高精度な面精度測定に用いられる点回折干渉計、反射鏡の製造方法及び投影露光装置に関する。

【0002】

【従来技術】

近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像度を向上させるために、X線を使用した露光方式（リソグラフィ技術）が開発されている。

【0003】

X線リソグラフィ装置の光学系としての反射光学系は、非球面を含む複数の反射ミラーから構成される。

【0004】

X線リソグラフィに用いられる光学系の総合波面収差は $\lambda/14\text{ rms}$ 以下でなければならず、そのため各ミラーは面精度（加工精度） $0.2\text{ nm rms}$ という極めて厳しい精度が要求される。

【0005】

このような厳しい精度で加工するためには、反射ミラーの形状計測には更に高精度、例えば、 $0.1\text{ nm rms}$ 程度の測定精度が必要とされる。

【0006】

一般に、超精密計測の手段として点回折干渉計（Point Diffraction Interferometer以下、PDIという）が用いられる。

【0007】

点回折干渉計には、大別してピンホールにより発散球面波を生じさせるものと、ファイバーにより発散球面波を生じさせるものがある。

【0008】

図6は、従来のピンホールにより発散球面を生じさせるPDI（以下、ピンホール方式という）の原理を示す図である。

【0009】

1は集光レンズ、2はピンホールミラー、3は被検ミラー、4はCCDである。

【0010】

ピンホールミラー2は、金属板にピンホールを形成したものの他に、透明基板と、その基板上に形成されたクロム等の金属膜とから構成されたものが用いられる。

【0011】

不図示の光源から照射された光は、集光レンズ1によってピンホール2a上に集光され、その一部はピンホールミラー2に形成されたピンホール2aを透過する際に回折し、発散球面波となって空間に広がる。

【0012】

この発散球面波の一部(W1)は、参照波面として用いる。

【0013】

他の一部(W2)は、測定波面として用い、被検ミラー3に向けて照射され、被検面3aで反射される(W2')とともにピンホールミラー2に向けて集光する。

【0014】

集光された測定波面(W2')はピンホールミラー2で再び反射され(W2'')、参照波面(W1)と干渉し、CCD4上に干渉縞を形成する。

【0015】

被検面4の不図示のホルダーにピエゾ素子が備えられており、被検物を微小に振動させて干渉縞の変化をCCDで検出してこれを解析することにより面精度が算出される。

【0016】

図7は、従来のファイバーにより発散球面波を生じさせるPDI(以下、ファイバー方式)の原理を示す図である。

【0017】

5は、出射面に反射増加膜が形成されたシングルモードファイバーである。

【0018】



不図示の光源から出射された光は、集光レンズ1を介してシングルモードファイバー5に照射され、ファイバーから射出した光束は、理想的な球面波である。

【0019】

従って、シングルモードファイバーを前述したピンホールミラーの代わりにファイバー方式の点回折干渉計に適用すると、ピンホール方式と同様の原理により被検面の面形状を測定することができる。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、かかる従来のPDIでは、種々の要因により十分な測定精度が得られなかった。誤差要因としては、主に以下に示すものがあげられる。

(1) 集光レンズの残収差による場合

前述したようにピンホール方式のPDIにおいては、レーザー光をピンホールミラー2に形成されたピンホール2aに集光するために集光レンズ1が用いられる。

【0021】

この集光レンズ1は複数枚のレンズから構成され、一般に収差を持っている。

【0022】

そのため、一般にピンホール2a上における集光スポットは収差により歪んでしまう。

【0023】

従って、ピンホール径が大きすぎると、ピンホール2a透過後の波面は歪んだままであり理想的な球面波にはならない。

【0024】

その結果、高精度の測定をすることができなかった。

(2) 偏光光に起因する場合

ピンホール方式のPDI、ファイバー方式のPDIのいずれにおいても、光源はレーザー光が用いられ、一般に偏光した光（直線偏光光）が被検物3に照射される。

【0025】

直線偏光光を用いた場合、以下に示すように反射波面の位相変化という問題が

生じる。これは、反射波面が歪むことを意味するので、高精度の測定を行うことができない。

#### 【0026】

図6に示すピンホール方式のPDIを例に用いると、被検面で反射された波面（ $W2'$ ）は角度をもってピンホールミラー2に戻り、ピンホールミラー2で再び反射される。

#### 【0027】

このとき反射波の位相が被検面からの反射波のピンホール2aへの入射角によって異なるために、反射波面（ $W2''$ ）が歪んでしまう。

#### 【0028】

被検物の面形状測定は、参照波面 $W1$ と $W2''$ との干渉によって計測されるので、歪んだ反射波面（ $W2''$ ）によっては、高精度の測定は不可能である。

#### 【0029】

これでは被検物を0.2nmの面精度で測定することは不可能である。

#### （3）反射位相差の制御

被検面3aからの反射波面（ $W2'$ ）がピンホールミラー2に形成されたピンホール2a近傍に集光される際に、散乱され、その結果波面が乱れてしまう。

#### 【0030】

図9は、所定の反射位相差が生じるピンホールミラーに形成されたピンホール径に対する反射波面の拡大率（反射波面の乱れ）を示す図である。

#### 【0031】

ここで、反射波面の拡大率とは、ピンホールミラー2に形成されたピンホール2aにおいて、被検面3aからの反射波面が散乱され、拡大することをいう。

#### 【0032】

即ち、反射波面の拡大率が1の場合は、被検面3aからの形状情報である波面（ $W2'$ ）が忠実に反射波面（ $W2''$ ）に反映されていることを意味する。

#### 【0033】

また、拡大率が1より大きい場合は、被検面3aからの形状情報である波面（ $W2'$ ）が、忠実に反射波面（ $W2''$ ）に反映されておらず、ピンホールミラー

2における反射によって波面が乱れていることを意味する。

【0034】

例えば、反射波面の拡大率が2の場合、ピンホールミラー2における反射後の反射波面(W2")の歪みが、被検面3aにおける反射波面(W2')の歪みの2倍であることを意味する。

【0035】

また、反射位相差とは、ピンホール内部(基板)とピンホール外部(反射膜)との反射位相の差をいう。

【0036】

計算は、波長 $\lambda = 633 \text{ nm}$ 、被検面NAは0.2、反射膜は膜厚200 nmのクロム膜を想定して行った。

【0037】

図9から、例えば、ピンホール径 $1.5 \mu\text{m}$ の場合、ピンホールにおける散乱により、波面形状が2倍にまで拡大し、高精度な計測はできないことがわかる。

【0038】

そこで、本発明は、従来のこのような問題に鑑みてなされたものであり、大NAの被検物の高精度な面測定(約0.2 nm rms程度の面精度が測定)が可能なる点回折干渉計を提供することを目的とする。また、反射鏡の製造方法及びこの製造方法により製造された反射鏡を備えた投影露光装置を提供することを目的とする。

【0039】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するための第一の手段は、光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記ピンホール径(直径)の範囲が、 $\lambda/2 \leq \phi_{\text{PH}} \leq \lambda/NA$

$\lambda$  : 前記光源から照射された光の波長、NA : 前記集光光学系の開口数、 $\phi_{PH}$  : 前記ピンホール径  
 であることを特徴とする点回折干渉計（請求項1）である。

## 【0040】

所定の範囲のピンホール径にすることにより、ピンホールミラーに照射された光の波面が、収差により歪んでいた場合であっても、ピンホール透過後は、理想的な球面波にすることができ、高精度の形状測定を可能とする。

## 【0041】

前記課題を解決するための第二の手段は、光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記集光光学系の開口数の範囲が、 $NA \leq \lambda / \phi_{PH}$

$$0 < NA < 1$$

$\lambda$  : 前記光源から照射された光の波長、NA : 前記集光光学系の開口数、 $\phi_{PH}$  : 前記ピンホール径  
 であることを特徴とする点回折干渉計（請求項2）である。

## 【0042】

前記課題を解決するための第三の手段は、光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、前記ピンホールに照射される光が、楕円偏光であり、

$$0.5 < \varepsilon < 2$$

$\varepsilon$  : 楕円率（長軸と短軸との比率）

であることを特徴とする点回折干渉計（請求項 3）である。

【 0 0 4 3 】

ピンホールミラーに照射される光として所定の範囲内の楕円偏光を用いることにより、ピンホールミラーにおける反射波面の位相変化量の角度依存性を小さくすることができ、高精度の形状測定を可能とする。

【 0 0 4 4 】

前記課題を解決するために第四の手段は、光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記ピンホールミラーが、透明基板と、該基板上に順次形成された第一反射膜と、前記ピンホールを備えた第二反射膜とを有することを特徴とする点回折干渉計（請求項 4）である。

【 0 0 4 5 】

前記課題を解決するための第五の手段は、前記ピンホール径が  $0.5 \mu\text{m}$  以上である場合に、

$$0.5 \leq r < 1$$

$$\phi = \Delta + 360^\circ \times N \quad (-45^\circ \leq \Delta \leq 45^\circ, N = \text{整数})$$

$r$  : 前記ピンホールの内部反射率（第一反射膜での反射）／前記ピンホールの外部反射率（第二反射膜での反射）

$\phi$  : 前記ピンホールの内部反射と外部反射との位相差

であることを特徴とする請求項 4 記載の点回折干渉計（請求項 5）である。

【 0 0 4 6 】

所定の位相差が生じるピンホールミラーにおいて、反射波面の拡大率（反射波面の乱れ）を小さくすることができ、高精度の形状測定を可能にする。

【 0 0 4 7 】

前記課題を解決するための第六の手段は、光源から照射された光を集光光学系

を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、  
前記ピンホールミラーの前記被測定面側に誘電体多層反射膜が形成されていることを特徴とする点回折干渉計（請求項6）である。

## 【 0 0 4 8 】

被検物からの反射波の位相の入射角度依存性を小さくし、高精度の形状測定が可能となる。

## 【 0 0 4 9 】

前記課題を解決するための第七の手段は、光源から照射された偏光光を偏波保存ファイバーに照射し、該ファイバーから射出された偏光光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ファイバーから射出された偏光光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記光源と偏波保存ファイバーとの間に回転可能な機構を備えた $\lambda/2$ 板を配置したことを特徴とする点回折干渉計（請求項7）である。

## 【 0 0 5 0 】

所定の偏光光により被検物を測定した第一データと、 $\lambda/2$ 板を $90^\circ$ 回転させた後被検物を測定した第二データとを重ね合わせ処理することにより、反射波面の位相変化に起因する誤差が相殺されるので、高精度な形状測定が可能となる。

前記課題を解決するための第八の手段は、光源から照射された光をシングルモードファイバーに照射し、該ファイバーから射出された光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ファイバーから射出された偏光光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定

する点回折干渉計であって、

前記シングルモードファイバーの前記被測定面側の端面に誘電体多層反射膜が形成されていることを特徴とする点回折干渉計（請求項 8）である。

【0051】

被検物からの反射波の位相の入射角度依存性を小さくし、高精度の形状測定が可能となる。

【0052】

前記課題を解決するための第九の手段として、基板上に重元素層と軽元素層とを交互に積層した多層膜が形成された反射鏡の製造方法であって、

少なくとも、請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載された点回折干渉計を用いて面精度を測定する工程を備えていることを特徴とする反射鏡の製造方法（請求項 9）である。

【0053】

前記課題を解決するための第十の手段として、軟 X 線によりマスクを照明する照明光学系と、前記マスクに形成されたパターンを感光基板上に投影露光するための投影光学系とを具備する投影露光装置において、

前記照明光学系又は投影光学系は、請求項 9 記載の反射鏡の製造方法により製造された反射鏡を備えていることを特徴とする投影露光装置（請求項 10）である。

【0054】

【発明の実施形態】

以下、本発明にかかる実施形態の点回折干渉計を図面を参照しながら説明する。

【0055】

本発明の実施形態が前提としている点回折干渉計は、図 6 に示したものである。

【0056】

図 1 は、ピンホール径（ $\mu\text{m}\phi$ ）に対するピンホール透過後の発散球面波の波面収差を示した図である。

【0057】

なお、透過波面収差は、 $1 \times 10^{-4} \lambda \text{ rms}$ を単位として表した。

【0058】

計算は、公知のスカラー回折理論を用いて行った。

【0059】

計算条件は、

- ・ レーザー波長  $\lambda = 633 \text{ nm}$
- ・ 集光レンズ1のNAを0.4
- ・ ピンホール通過後の発散球面波のNAを0.4
- ・ 集光レンズ1の収差としてコマ収差  $0.05 \lambda \text{ rms}$  である。

【0060】

なお、波面収差は、発散球面波のうちNA0.4の範囲で計算した。

【0061】

計測に用いられる範囲は、この1/2のNA0.2ということになる。

【0062】

図1から、ピンホール径 $1.5 \mu\text{m}$ より大きくなると急激に収差が増大することがわかる。

【0063】

従って、この条件における集光スポット径（エアリーディスク径）は、 $1.93 \mu\text{m}$ であるので、ピンホール径は、集光スポット径（エアリーディスク径） $\times 0.8$ 以下であることが好ましいことが導かれる。

【0064】

つまり、エアリーディスク径  $= \lambda / \text{NA} \times 1.22$ （ $\lambda$ ：レーザー波長、NA：集光レンズの開口数）であるので、

ピンホール径  $= \lambda / \text{NA} \times 1.22 \times 0.8 \div \lambda / \text{NA}$  であることが導かれる。

【0065】

一方、ピンホール径がレーザー波長の1/2以下になると急激に光量が低下することが知られている。



## 【 0 0 6 6 】

光量が不足すると、CCDノイズが大きくなる、即ち被検物の面精度を十分に検出するに足るS/N比を得ることができないので、高精度の測定を行うことができない。

## 【 0 0 6 7 】

よって、ピンホール径 $\phi$ PHの好ましい範囲として、

$$\lambda / 2 \leq \phi \text{PH} \leq \lambda / \text{NA}$$

が導かれる。

## 【 0 0 6 8 】

もっとも、ピンホールミラーを形成する金属板又は金属膜が所定の厚み以下の場合は、ピンホールに照射される光の十分な遮光がされず、光のうち必要な部分だけを透過させることができない、即ち集光レンズの収差を含んだ光のうちその収差部分を除去できないので、理想的な球面波を生じさせることができない。

## 【 0 0 6 9 】

従って、例えば、クロム膜の場合は、膜厚100nm以上、アルミニウム膜の場合は、50nm以上が必要である。

## 【 0 0 7 0 】

また、ピンホールは、収差発生の観点から、真円であることが好ましい。

## 【 0 0 7 1 】

ピンホールが歪んでいる場合は、その影響により収差が発生するからである。

## 【 0 0 7 2 】

また、所定のピンホール径を有するピンホールミラーを用いて測定を行う場合は、次の範囲の開口数を有する集光光学系を選択することが好ましい。

## 【 0 0 7 3 】

前記集光光学系の開口数の範囲は、 $\text{NA} \leq \lambda / \phi \text{PH}$ 、 $0 < \text{NA} < 1$ である。

## 【 0 0 7 4 】

図2は、本発明の第2の実施形態のピンホール方式の点回折干渉計の概略を示す図である。

## 【 0 0 7 5 】

本発明の第2の実施形態のピンホール方式の点回折干渉計は、前述した図6に

示す従来のピンホール方式の点回折干渉計の集光レンズ1の前に直線偏光光を円偏光光にする $\lambda/4$ 板6を配置した構成である。

【0076】

図8は、ピンホールミラー2への入射角(NA)に対する反射波面の位相を示したものである。

【0077】

横軸は、ピンホールミラー2への入射角をNAで表したものであり、縦軸は、ピンホールミラー2における反射波面の位相を表したものである。

【0078】

計算は、レーザー波長 $\lambda = 633 \text{ nm}$ 、反射膜は膜厚 $200 \text{ nm}$ のクロム膜を想定して行った。

【0079】

ここで、p偏光は、図6の紙面に平行な偏光であり、s偏光は図6の紙面に垂直な偏光である。

【0080】

他の構成は、図6に示した構成と同様である。

【0081】

図8に示された計算結果から、 $NA = 0 \sim 0.4$ の範囲でs偏光、p偏光のいずれもが、約 $0.005\lambda$  歪むことがわかる。

【0082】

また、図5からs偏光とp偏光とは逆方向に位相がずれている。

【0083】

従って、円偏光光を用いて測定を行えば、s偏光とp偏光の位相のずれは相殺されることが予想できる。

【0084】

図8に示す計算結果によると、円偏光光を用いた測定をした場合、

$NA = 0 \sim 0.4$ の範囲で波面歪 $0.0001\lambda \text{ rms}$ 程度

$NA = 0 \sim 0.6$ の範囲で波面歪 $0.001\lambda \text{ rms}$ 以下

という極めて小さい歪しか発生しない。

## 【0085】

ピンホールミラーに照射される光は、直線偏光に比べて円偏光のほうが、精度が良いということが導かれる。

## 【0086】

また、円偏光に近い楕円偏光であっても誤差の抑制効果は大きい。

## 【0087】

図8から、楕円率0.5～2の楕円偏光であれば、測定誤差を抑制することができる。

## 【0088】

図3は、本発明にかかる実施形態のファイバー方式の点回折干渉計の概略を示す図である。

## 【0089】

本発明にかかる実施形態のファイバー方式の点回折干渉計は、前述した図7に示す従来のファイバー方式の点回折干渉計のシングルモードファイバー5を偏波保存ファイバー7に置き換え、その前に回転可能な $\lambda/2$ 板8を配置する構成である。他の構成は、図7に示した構成と同様である。

## 【0090】

この点回折干渉計の測定方法として、まずp偏光で被検物3を測定して、測定データを取得し（第一測定データ）、次に $\lambda/2$ 板8を $45^\circ$ 回転してp偏光をs偏光にした上で、s偏光で被検物3を測定して、測定データを取得し（第二測定データ）、双方の測定データを重ね合わせ処理すると、反射波面の位相変化に起因する誤差は相殺される。

## 【0091】

なお、測定に用いる偏光は、必ずしもp偏光、s偏光である必要はなく、一方の偏光が他方の偏光に対して偏光面が $90^\circ$ 回転していればよい。

## 【0092】

従来のファイバー方式の点回折干渉計をシングルモードファイバーを偏波保存ファイバーに置き換えた点回折干渉計を用いて測定する実施形態の測定方法としては、まず所定の設置位置で被検物を測定して、測定データを取得し（第一測定

データ)、次に被検物を設置位置から $90^\circ$ 回転させて測定して、測定データを取得し(第二測定データ)、双方の測定データを重ね合わせ処理すると、誤差は相殺される。

## 【0093】

双方の測定データを重ね合わせる際には、被検物を $90^\circ$ 回転したことに応じて、第二測定データを $-90^\circ$ 分回転してから重ねる必要がある。

## 【0094】

また、被検物からの反射波の位相の入射角度依存性を小さくするための本発明の実施形態は、従来技術で示した図6に示すピンホール方式のPDIのピンホールミラー(金属基板にピンホールが形成されたもの、透明基板上にピンホールを備えた金属膜が形成されたもの)上にピンホールを備えた誘電体多層膜が形成されたものである。

## 【0095】

なお、誘電体多層膜は、ピンホール内部の透明基板上に形成してもよい。

## 【0096】

また、従来技術で示した図7に示すファイバー方式のPDIのファイバー反射面(ピンホールを備えた金属膜)に誘電体多層膜を形成されたものである。

## 【0097】

通常の偏光光学系(例えば、光磁気再生光学系等)では、反射ミラーに反射位相の偏光依存性があると、偏光が乱れてしまう。

## 【0098】

そこで、一般には、基板上に誘電体のみからなる多層反射膜を形成した反射ミラーが用いられる。

## 【0099】

これを、そのままピンホール方式の点回折干渉計に適用し、透明基板上にピンホールを備えた誘電体のみからなる多層反射膜が形成されたピンホールミラーにしても、ピンホールの機能を果たさない。

## 【0100】

ピンホールを備えた誘電体のみからなる反射増加膜では、ピンホール近傍の光

は誘電体多層膜の内部に浸透してしまう。つまり金属膜と異なり、誘電体のみの反射増加膜では光を閉じ込めることができない。その結果、ピンホール透過後の波面は理想的な球面波にならず、歪んでしまう。

#### 【0101】

このような理由から、点回折干渉計に用いるピンホールミラーは、透明基板上にピンホールを備えた金属膜、ピンホールを備えた誘電体多層膜を順次形成した構成にする必要がある。

#### 【0102】

本発明にかかる第3実施形態のピンホール方式の点回折干渉計は、前述した図6に示す従来のピンホール方式の点回折干渉計のピンホールミラー2を以下に示すピンホールミラーに置き換えた構成である。

#### 【0103】

他の構成は、図6に示した構成と同様である。

#### 【0104】

図4は、第3実施形態のピンホール方式の点回折干渉計のピンホールミラーの概略断面図である。

#### 【0105】

実施形態のピンホールミラーは、ガラス基板9と該基板9上に順次形成された第一反射膜10、ピンホール11aを備えた第二反射膜11とから構成されている。

#### 【0106】

被検面から反射された波面W2'は、第二反射膜11に形成されたピンホール11aを透過して、第一反射膜10で反射される（以下、ピンホール内部反射率という）とともに、第二反射膜11上においても反射される（以下、ピンホール外部反射率という）。

#### 【0107】

これは、第一反射膜10を形成する、即ち、ピンホール内部に反射膜を形成することにより、内部反射率を向上させ、ピンホール内部反射とピンホール外部反射との位相差が $2\pi \times$ 整数になるようにして、ピンホールが実質的に存在しないの

と同様の効果を生じさせるとピンホール 11a による散乱は極力抑えられる。

【0108】

図5は、ピンホール径  $\phi$  を  $1\ \mu\text{m}$  とした場合におけるピンホール内部反射とピンホール外部反射との反射位相差に対する被検物からの反射波面の拡大率を示す図である。

【0109】

$\gamma$  = ピンホール内部反射率 / ピンホール外部反射率

$\gamma = 0$  は、ピンホール内部反射率が0、即ち完全に透過する場合に相当する。

【0110】

この図から好ましい範囲としては、

反射位相差 =  $(-45 \sim 45^\circ) + 360^\circ \times \text{整数}$

$0.5 \leq \gamma < 1$

このような条件下では、ピンホールの散乱に起因する反射波面の拡大率は、従来のピンホールに比べて十分小さく抑えられる。

【0111】

同様にピンホール径  $1.5\ \mu\text{m}$  でも上記の条件を満たしていればピンホールの散乱に起因する反射波面の拡大率は従来のピンホールに比べて  $1/2$  程度に抑えられる。

【0112】

ピンホール径がさらに大きい場合、集光レンズ1の残収差を除去するために集光レンズのNAを小さくし、集光スポット径をピンホール径に応じて大きくしなければならない。この時、ピンホールを透過する光束のNAは小さくなるから測定可能な被検面のNAは小さくなる、被検面のNAが小さくなれば、被検面で反射された光束の集光スポット径は大きくなり、結果としてピンホール散乱による反射波面の歪み (= 拡大率) は、ピンホール径  $1\ \mu\text{m}$   $\phi$  の場合と同程度しか発生しない。従って、この場合でも上記条件式が満足されていれば、反射波面の拡大率を抑制することができる。

【0113】

図5から  $\gamma$  が大きい方が効果は大きい、 $\gamma = 1$  では集光レンズからの光がピ

ンホールをほとんど透過せず光量不足を招くので、必要な光量との兼ね合いで $\gamma$ を決定する必要がある。

## 【0114】

なお、図5からピンホール径が $0.5\mu\text{m}$ 以下の場合は、かかる反射位相差により反射波面が乱れるという影響をほとんど受けない。

## 【0115】

従って、ピンホール径 $\phi$ が $0.5\mu\text{m}$ 以上の範囲で上記条件を適用することができる。

## 【0116】

ピンホール径が $1\mu\text{m}$ である場合に、前記条件を満たすピンホールミラーとしては、ガラス基板上に、膜厚 $10\text{nm}$ のクロムからなる第一反射膜、ピンホールを備えた膜厚 $30\text{nm}$ のクロムからなる第二反射膜を順次形成した構成が挙げられる。

## 【0117】

$\lambda = 633\text{nm}$ の光源を用いた場合は、ピンホール内部反射率（第一反射膜の反射率）は約26.5%であり、第一反射膜の透過率は約35%である。

## 【0118】

また、ピンホール外部反射率（第二反射膜の反射率）は約52.5%である。

## 【0119】

本発明にかかる点回折干渉計を用いて、EUVL用の反射鏡の面精度を測定する。EUVL用反射鏡は、基板上に重元素層と軽元素層とを交互に積層した多層膜を形成した構成である。

## 【0120】

基板としては、ガラス、溶融石英、シリコン単結晶、炭化ケイ素等の基板であって、基板表面が使用波長に比べて十分に滑らかになるように研磨されたものが用いられる。

## 【0121】

重元素層としては、例えば、スカンジウム (Sc)、チタン (Ti)、バナジウム (V)、クロム (Cr)、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、コバルト (Co)、

ジルコニウム (Zr)、ニオブ (Nb)、モリブデン (Mo)、テクネチウム (Tc)、ルテニウム (Ru)、ロジウム (Rh)、ハフニウム (Hf)、タンタル (Ta)、タングステン (W)、レニウム (Re)、オスミウム (Os)、イリジウム (Ir)、白金 (Pt)、銅 (Cu)、パラジウム (Pd)、銀 (Ag)、金 (Au) 薄膜等が用いられ、軽元素層としては、例えばシリコン (Si)、炭素 (C)、ベリリウム (Be)、窒化珪素 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、窒化ホウ素 (BN) 薄膜等が用いられる。

## 【0122】

反射鏡の作成には、超高真空中における真空蒸着や、また化合物材料を用いる場合は、残留酸素等の量が十分少ない真空中におけるスパッタリング法が有効な手段として用いられ、その他の抵抗加熱、CVD、反応性スパッタリング法の様々の薄膜を形成する方法を用いることができる。

## 【0123】

所定の面精度に達成しない反射鏡は、再度加工され、多層膜形成後、面精度の測定を行う。所定の面精度を達成するまで、この工程を繰り返して反射鏡を製造する。

## 【0124】

このような製造方法により製造された反射鏡は、例えば図10に示すEUVL (Extreme Ultra Violet lithography) に搭載される。

## 【0125】

図10に示すEUVLに搭載される反射鏡は、すべて前述したような製造方法により製造された高精度な面を有する反射鏡であることが好ましい。

## 【0126】

もっとも、このような製造方法により製造された反射鏡が搭載されるEUVLの構成は、この例に限られないことは言うまでもない。

## 【0127】

図10は、EUVLの構成を示す概略図である。

## 【0128】

図10において、レーザー光源100より発したレーザー光 (赤外～可視光)



は、集光光学系101により集光位置23に集光される。物体源22より滴下された物体は、集光位置23において高照度のレーザー光を受け、その中心部がプラズマ化し、軟X線が発生し、軟X線の光源（プラズマX線源）となる。

【0129】

なお、プラズマX線源に代えてSOR (Synchrotron orbital radiation) を用いてもよい。

【0130】

軟X線としては、50nm以下の波長領域が望ましく、例えば13nmの放射光を用いることができる。また、軟X線は大気に対する透過率が低いため、装置全体は真空チャンバー21により覆われている。

【0131】

集光位置23において発生した軟X線は、平面鏡及び凹面鏡の組み合わせからなる光学系24、25、26により所定面積のパターンを有する視野絞り27上に導かれる。次に、視野絞り27を通過した放射光束は反射系で構成されるリレー光学系28により、マスクステージST1上に載置された反射型マスク29上に導かれる。この反射型マスク29上には、軟X線を反射する反射部と軟X線を反射しない非反射部とからなるパターンが形成されている。光学系24、25、26、28は反射マスク29上を照明する照明光学系を構成する。

そして、反射型マスク29により選択的に反射された放射光束は、投影光学系30により基板ステージST2上に載置された被露光基板31に導かれ、反射型マスク29上のパターンが被露光基板31上に投影される。

【0132】

マスクステージST1及び基板ステージST2はそれぞれ駆動部MT1及びMT2に接続されており、露光に際して、これら駆動部MT1、MT2により反射型マスク29と被露光基板31とは、図10中矢印方向に示すように投影光学系30に対して相対的に移動し、これによりスキャン露光が行われる。ここで、視野絞り27とマスク29とはリレー光学系28に関して共役な関係にある。また、視野絞り27と被露光基板31とは、リレー光学系28、反射型マスク29及び投影光学系30に関して共役な関係にある。

## 【0133】

従って、光学的にはマスク29上に視野絞り27が配設されているのと等価であるので、照明範囲を制限することができる。かかる構成によれば、マスク29近傍に視野絞り27が存在しないため、絞り27による放射光束の蹴られが発生せず、良好な解像力の像を得ることができる。

また、投影光学系30が、その内部に反射マスク29の中間像を形成する場合は、その中間像位置に視野絞り27を配設してもよい。

## 【0134】

また、視野絞りは1つに限られず、走査直交方向（スキャン直交方向）の幅を制限する羽根及び走査方向（スキャン方向）の幅を制限する羽根などの複数の部材から構成されていてもよい。

## 【0135】

他のEUVLの例として、米国特許第5,815,310、5,410,434、5,353,332、5,220,590、5,153,898、5,093,586等あげられ、本特許出願を基礎として優先権主張を伴った出願をした国の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

## 【0136】

## 【発明の効果】

以上説明した通り、本発明によれば、従来のPDIに比べて、0.1nmrms程度の高精度で面形状の測定が可能となる。

## 【0137】

従って、面精度として0.2nmrms程度が要求されるEUVL (Extreme Ultra Violet lithography) の反射ミラーの超精密計測に用いることができる。

## 【0138】

勿論、EUVL用ミラー以外の反射ミラーの超精密計測にも用いられる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】ピンホール径に対するピンホール透過後の発散球面波の波面収差を示した図である。

【図2】本発明の第2実施形態のピンホール方式の点回折干渉計の概略を示す図である。

【図3】本発明の第3実施形態のファイバー方式の点回折干渉計の概略を示す図である。

【図4】本発明の第4実施形態のピンホール方式の点回折干渉計に適用されるピンホールミラーの概略断面図である。

【図5】ピンホール径を $1\mu\text{m}$ とした場合におけるピンホール内部反射とピンホール外部反射との反射位相差に対する被検物からの反射波面の拡大率を示す図である。

【図6】ピンホールにより発散球面波を生じさせるPDIの原理を示す図である。

【図7】ファイバーにより発散球面波を生じさせるPDIの原理を示す図である。

【図8】ピンホールミラーへの入射角（NA）に対する反射波面の位相を示したものである。

【図9】所定の反射位相差が生じるピンホールミラーに形成されたピンホール径に対する反射波面の拡大率（反射波面の乱れ）を示す図である。

【図10】EUVL構成の一例を示す図である。

【符号の説明】

- 1・・・集光レンズ
- 2・・・ピンホールミラー
- 3・・・被検物（被検ミラー）
- 4・・・CCD
- 5・・・シングルモードファイバー
- 6・・・ $\lambda/4$ 板
- 7・・・偏波保存ファイバー
- 8・・・ $\lambda/2$ 板
- 9・・・透明基板
- 10・・・第一反射膜
- 11・・・第二反射膜
- 21・・・真空チャンバー

2 2 . . . 物体源

2 3 . . . 集光位置

2 5、2 6、2 8 . . . 照明光学系

2 7 . . . 視野絞り

2 9 . . . 反射型マスク

3 0 . . . 投影光学系

3 1 . . . 被露光基板

S T 1 . . . マスクステージ

S T 2 . . . 基板ステージ

M T 1、M T 2 . . . 駆動部

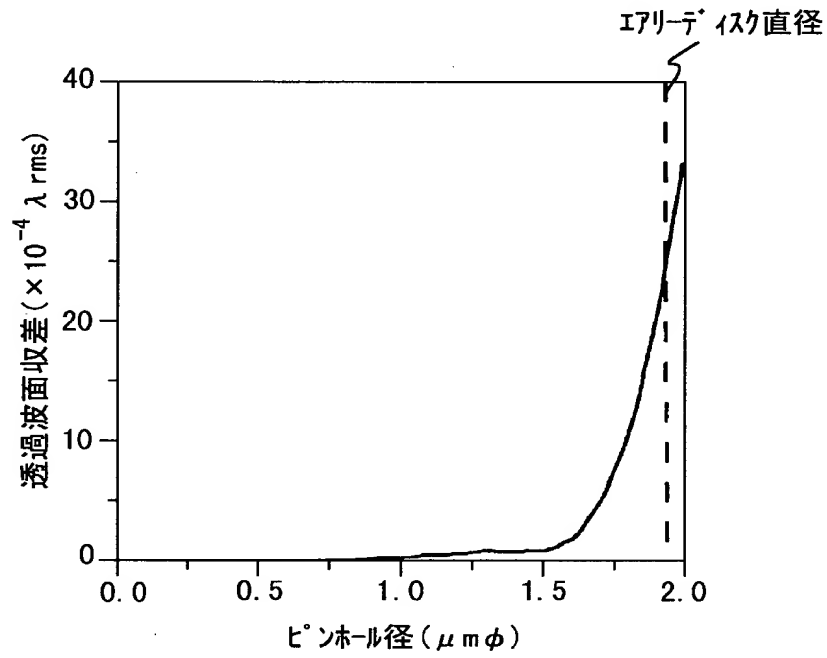
1 0 0 . . . レーザー光源

1 0 1 . . . 集光レンズ

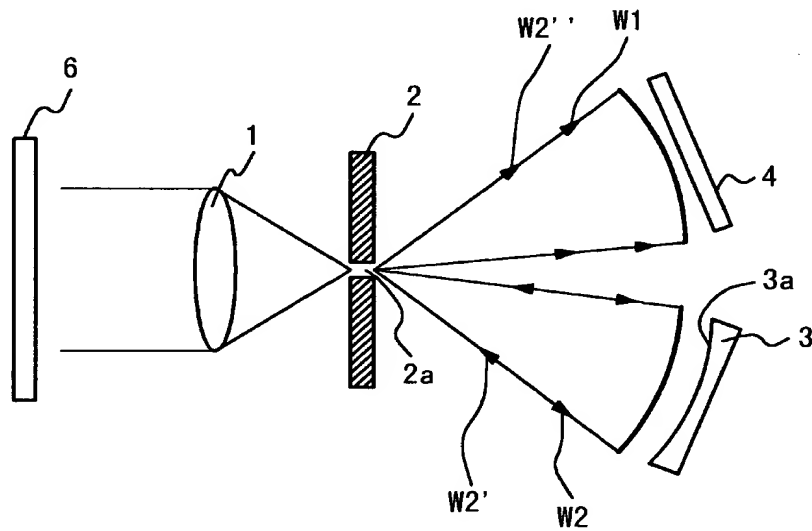
【書類名】

図面

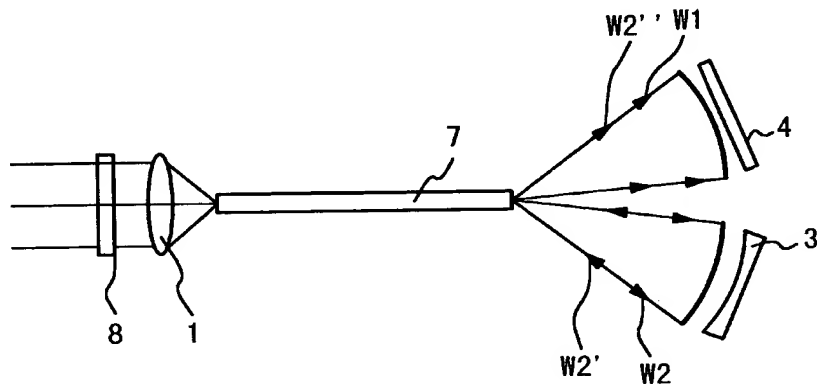
【図 1】



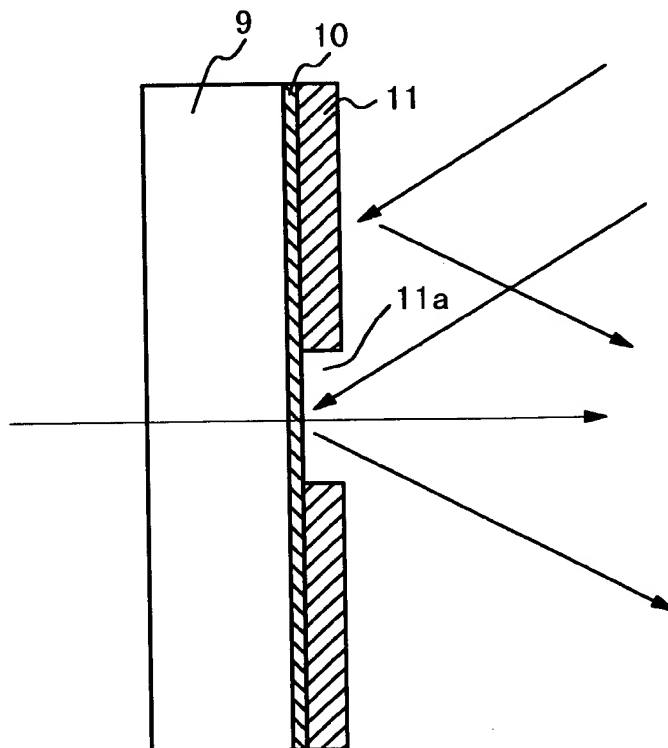
【図 2】



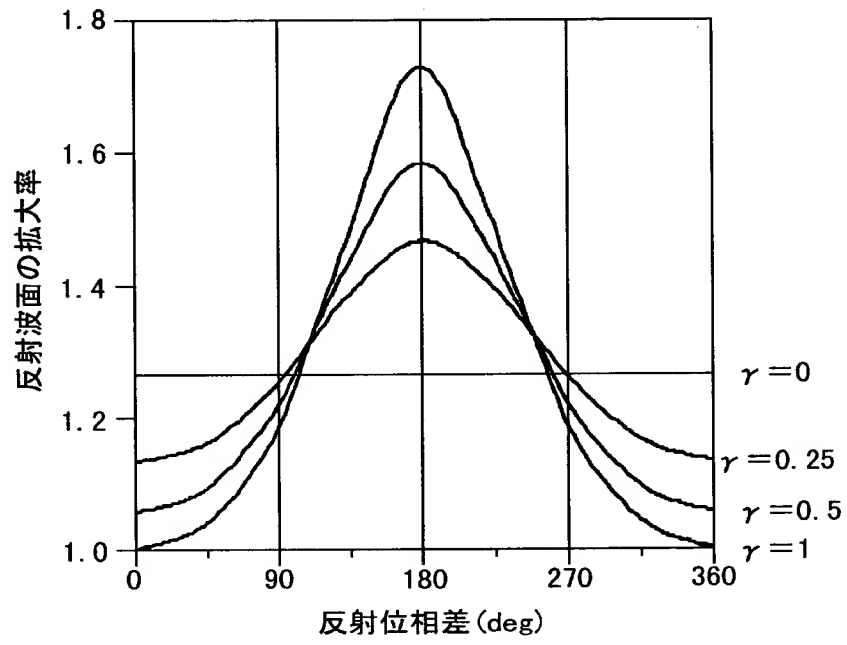
【図3】



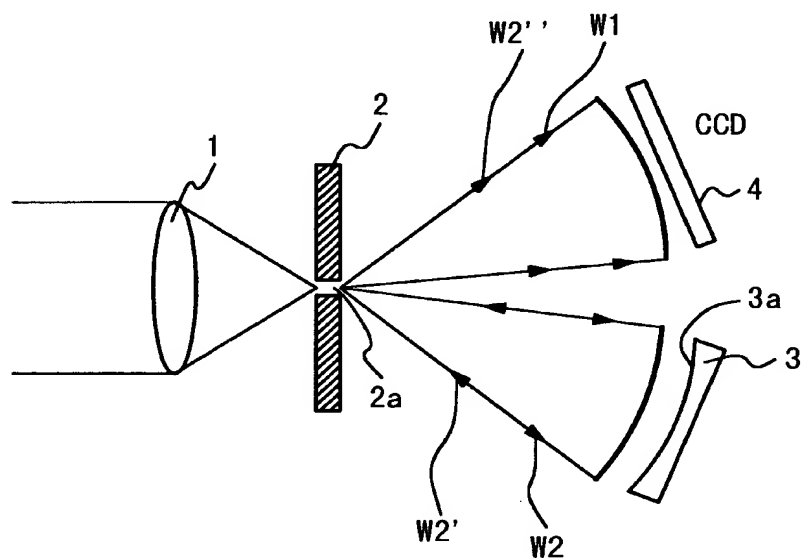
【図4】



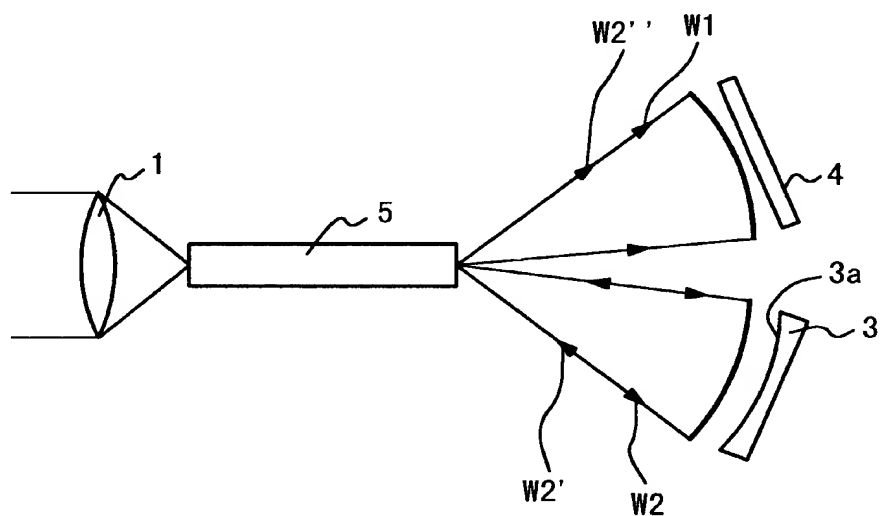
【図 5】



【図 6】

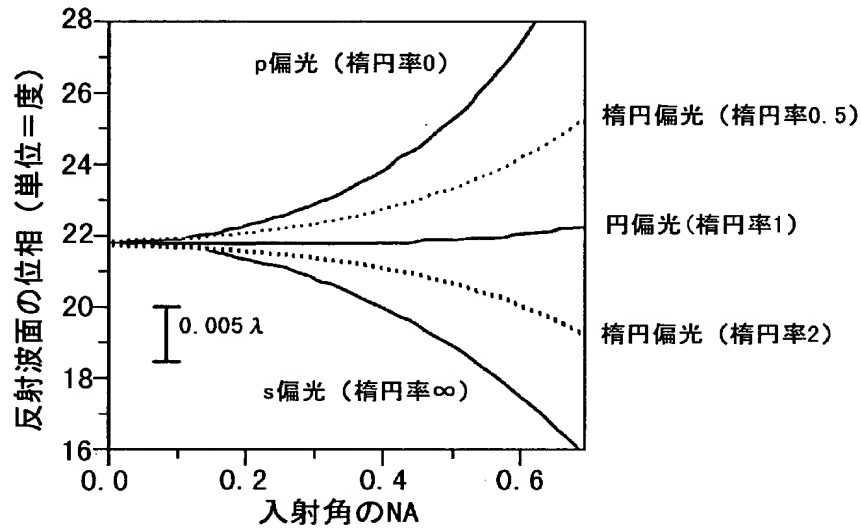


【図 7】

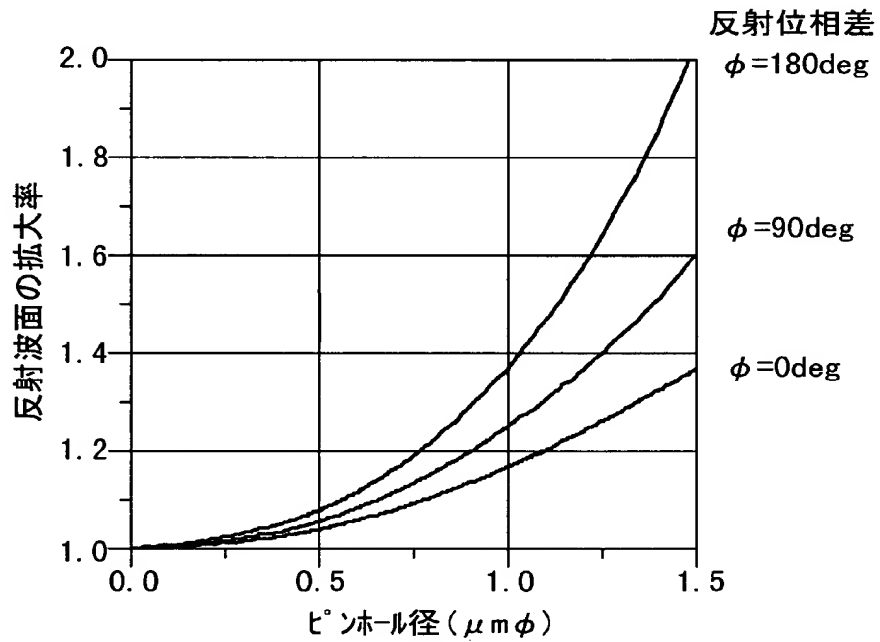




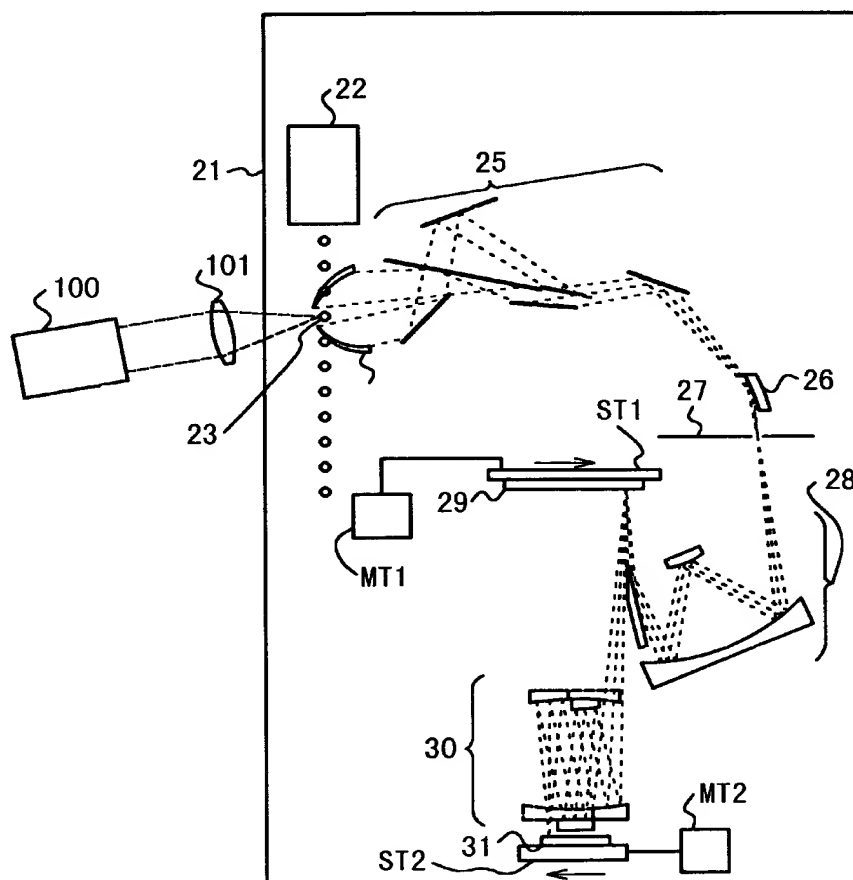
【図8】



【図9】



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】大NAの被検物の高精度な面測定（約0.2nmrms程度の面精度が測定）が可能な点回折干渉計を提供することを目的とする。また、反射鏡の製造方法及びこの製造方法により製造された反射鏡を備えた投影露光装置を提供する。

【解決手段】光源から照射された光を集光光学系を介してピンホールミラーに照射し、該ピンホールから回折した光の一部を測定用光束として被測定面に照射し、該被測定面で反射された前記測定用光束と、前記ピンホールから回折した光の他の一部である参照用光束とを互いに干渉させ、該干渉により生じる干渉縞の状態を検知することにより前記被測定面の面精度を測定する点回折干渉計であって、

前記ピンホール径（直径）の範囲が、 $\lambda/2 \leq \phi_{PH} \leq \lambda/NA$

$\lambda$ ：前記光源から照射された光の波長、NA：前記集光光学系の開口数、 $\phi_{PH}$ ：前記ピンホール径  
であることを特徴とする点回折干渉径。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
氏 名 株式会社ニコン